

## ANALISIS PEMBENTUKAN KERAK DI DALAM PIPA PDAM SEMARANG

\*Titis Septianna Sari<sup>1</sup>, Athanasius Priharyoto Bayuseno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: titis.septianna09@gmail.com

### Abstrak

Pipa merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengolahan air minum yang digunakan untuk transportasi aliran air. Jika salah satu pipa mengalami korosi dan pengerakan maka potensi kerugian secara ekonomi akan tinggi. Untuk mengetahui pembentukan kerak dan karat di dalam pipa PDAM Semarang pengujian yang dilakukan antara lain: Uji Komposisi Kimia, Uji Kekerasan, Uji Struktur Mikro, Uji SEM-EDX dan Uji XRD.

Dari hasil pengujian komposisi kimia yang menunjukkan pipa PDAM Semarang termasuk baja karbon rendah dengan jenis material "JIS G4051 Type S 09 K". Untuk hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan pipa terkorosi lebih besar dibandingkan dengan nilai kekerasan pipa baru. Pada hasil EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) unsur mangan (Mn) lebih tinggi dipengaruhi oleh komposisi air pipa PDAM sebesar 0,483 Mg/l. Pada grafik hasil pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) terdapat dua fasa yaitu: fasa *birnesite syn* ( $MnO_2$ ) dan fasa *hydroheate rolite* ( $Zn_2Mn_4 + 3O_8.H_2O$ ). Hasil kedua fasa tersebut dapat memperlihatkan kadar Mn dan Zn yang tinggi di dalam air menyebabkan terbentuknya kerak pada dinding pipa.

**Kata kunci:** Korosi, Kerak di dalam pipa, Pipa

### Abstract

*Pipes are important components in a system drinking water to transport water flow. If one of the pipes experiences corrode and scaling, the potential economic losses will be high. To determine the scale formation and corrosion in the pipeline of PDAM Semarang tests was performed including: Chemical Composition Test, Hardness Test, Piping Material Microstructure, SEM-EDX Test and Test XRD. The test results show that the pipe of PDAM Semarang can be classified as the low carbon steel according to material type "JIS G4051 Type S 09 K". The hardness test results show that the hardness value of the corroded pipe is greater than the hardness value of the new pipeline. From the test results show the chemical composition of pipe PDAM Semarang including low carbon steel with material type "JIS G4051 Type S 09 K". For the hardness test results show that the hardness value of corroded pipe is greater than the hardness value of the new pipeline. Based on the results of EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), element of manganese (Mn) influenced the composition of the pipe water is 0.483 Mg / l. From XRD (X-ray Diffraction), there are two phases, namely: phase birnesite syn ( $MnO_2$ ) and phase hydroheate rolite ( $Zn_2Mn_4 + 3O_8.H_2O$ ). The results of the two phases can exhibit high levels of Mn and Zn in the water provided formation of oxide scale on the walls of the pipe.*

**Keywords:** corrosion, pipe, scale in the pipe

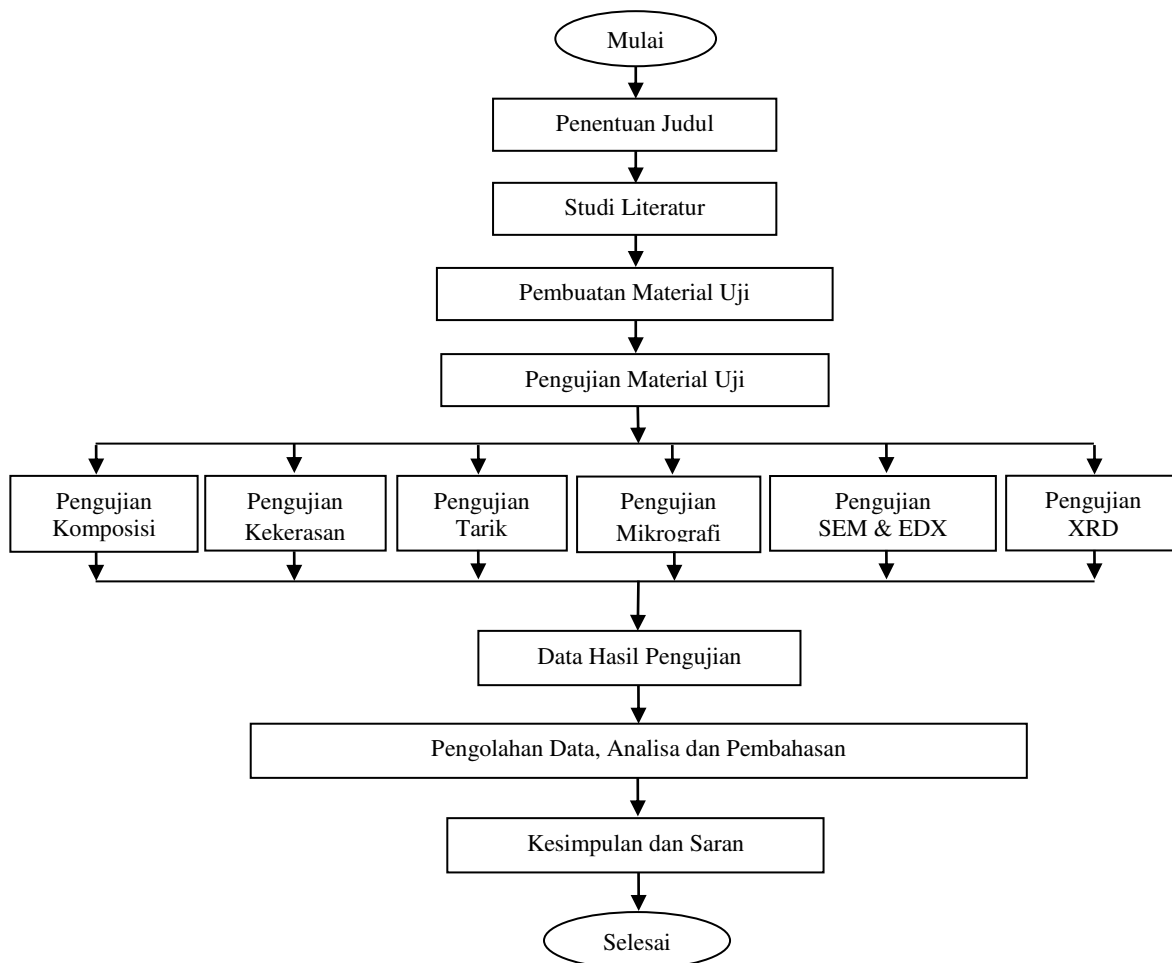
### 1. Pendahuluan

Pipa merupakan salah satu komponen konstruksi yang selalu digunakan untuk berbagai keperluan industri, terutama perusahaan air minum yang berfungsi sebagai transportasi aliran fluida dari satu area ke area lainnya.

Dalam sistem perpipaan kebanyakan jenis bahan pipa yang digunakan adalah jenis logam. Logam merupakan penghantar listrik yang sangat baik, logam memiliki sifat ulet, logam memiliki ketahanan aus yang baik. Namun logam juga mempunyai banyak kelemahan jika dibandingkan dengan unsur-unsur lain, karena logam mudah terkorosi jika berinteraksi dengan lingkungan

Korosi itu sendiri merupakan proses perusakan material akibat reaksi antara logam dengan lingkungannya sehingga merugikan bagi manusia karena hal tersebut menyebabkan berkurangnya umur desain dan kekuatan suatu konstruksi, menimbulkan kebocoran dan berkurangnya mutu suatu produk serta tingginya biaya perawatan yang dikeluarkan untuk mengganti bagian yang rusak akibat konstruksi. Tujuan penelitian ini antara lain : memperoleh data komposisi kimia dari pipa PDAM Semarang, menganalisa kekerasan material pipa PDAM dengan uji kekerasan, menganalisa struktur mikro dari pipa PDAM, menganalisa pembentukan kerak pada material pipa yang terkorosi, mengidentifikasi struktur kristal pada serbuk kerak pipa dan memperoleh laju korosi dari pipa PDAM Semarang.

## 2. Material dan Metode Penelitian



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

### 2.1 Material Penelitian

Spesifikasi material uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

**Tabel 1.** Spesifikasi Material Uji

No	Spesifikasi	Pipa Baru	Pipa Korosi
1	Berat Pipa	824,48 g	816,04 g
2	Tebal Pipa	3,42 mm	3,31 mm
3	Panjang Pipa	230 mm	230 mm
4	Diameter Luar	50,8 mm	50,8 mm
5	Diameter Dalam	43,96 mm	44,18 mm



**Gambar 2.** Material Penelitian (a) pipa baru dan (b) pipa terkorosi

## 2.2 Pengujian Komposisi Kimia

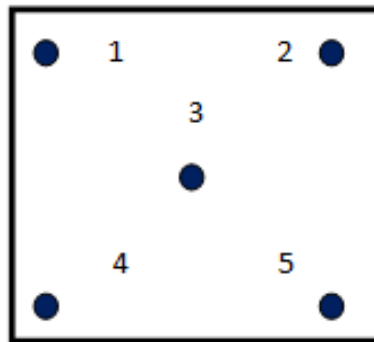
Pengujian komposisi kimia menggunakan alat uji spektrometer untuk mendeteksi komposisi atau kadar unsur-unsur yang terkandung dalam suatu logam. Uji komposisi dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper. Sampel uji yang digunakan untuk pengujian komposisi kimia dibutuhkan satu buah sampel uji dengan ukuran 5cm x 5cm. sampel diambil dari pipa baru.



Gambar 3. Sampel uji pengujian komposisi kimia

## 2.3 Pengujian Kekerasan

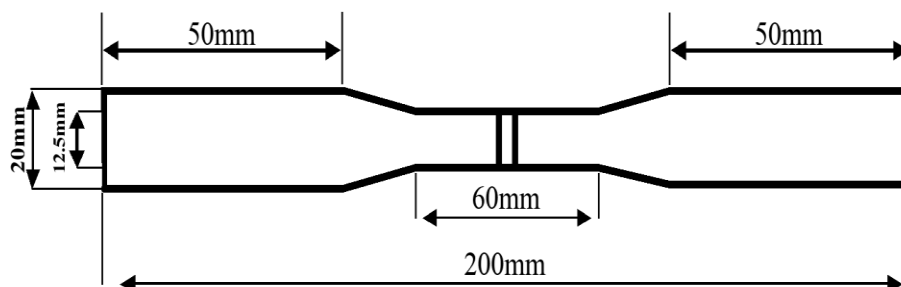
Pengujian kekerasan pada pipa baru dan pipa korosi dengan HRA *Penetrator Brale* beban 60 kg. Pengujian kekerasan dilakukan pada 5 sampel uji pada masing-masing pipa dengan 5 titik pengujian pada tiap sampelnya. Skema dari pengujian kekerasan pada pipa baru dan pipa korosi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema pengujian kekerasan pipa baru dan pipa korosi

## 2.4 Pengujian Tarik

Sampel uji untuk pengujian tarik harus dibuat pola sesuai standar ASTM E-8 yang digunakan untuk pengujian tarik. Panjang awal spesimen uji ( $L_0$ ) adalah 60 mm, lebar awal 12,5 mm, tebal plat pipa ( $t$ ) adalah 3,42 mm dan panjang keseluruhan spesimen uji adalah 200mm. bentuk pola uji tarik ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk Pola uji tarik

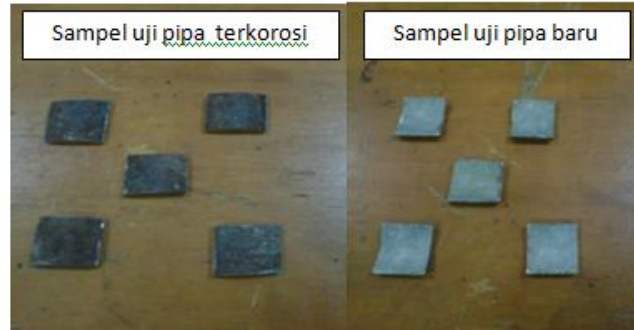
Keterangan:

$L_0$  = panjang spesimen uji  
 $W_0$  = lebar awal

$t$  = tebal pipa

## 2.5 Pengujian Mikrografi

Pengujian struktur mikro pipa baru dan pipa korosi diperlukan 5 buah sampel uji dengan menggunakan mikroskop optic dengan perbesaran 1000x, 1 strip sama dengan 10 mikron. Pengamatan ini untuk melihat bentuk struktur mikro dari material pipa baru dan pipa yang terkorosi dan menghitung batas butir.



**Gambar 6.** Sampel uji untuk pengujian mikrografi

## 2.6 Pengujian Kerak Pipa

Untuk pengujian kerak pada pipa sampel yang digunakan berupa serbuk korosi dari pipa. Serbuk tersebut digunakan untuk uji SEM-EDX untuk mengetahui karakteristik korosi yang terjadi dan melihat struktur morfologi dari kerak pipa yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata. Serta untuk uji XRD (*X-ray diffraction*) untuk mengamati fase-fase yang terbentuk.



**Gambar 7.** Serbuk kerak dari dinding pipa

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil pengujian komposisi kimia

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia material uji dari pipa yang belum terkorosi. Berikut hasil pengujian komposisi kimia dari pipa yang belum terkorosi ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Komposisi kimia pipa pipa baru

No	Unsur	Presentase (%)
1	Fe	99,1
2	C	0,0711
3	Si	0,0758
4	Mn	0,283
5	P	0,0122
6	S	0,0140
7	Cr	0,0269
8	Mo	0,0338
9	Ni	0,0130
10	Al	0,0252

11	Co	0,0284
12	Cu	0,0801
13	Nb	0,0136
14	Ti	0,0105
15	V	0,0239
16	W	0,120
17	Pb	<0,0100
18	Ca	<0,0001
19	Zr	0,0117

Dari Tabel 2 Terlihat 0,0711% karbon, dimana kadar karbon dengan presentase kurang dari 0,2 % termasuk dalam klasifikasi baja karbon rendah (low carbon steel). Untuk mendapatkan jenis baja yang dipakai, maka hasil dari tabel 2. dicocokkan dengan tabel pada "*chemical composition of carbon steels for general use*" didapatkan persamaan pada "JIS G4051 Type S 09 CK" kondisi material ini masih termasuk dalam kategori baja dengan karbon rendah. Komposisi kimia dengan jenis material "JIS G4051 Type S 09 CK" adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.** Komposisi kimia dari material "JIS G4051 Type S 09 CK"

No	Unsur kimia	% max
1	C	0,07 – 0,12
2	Mn	0,30 – 0,06
3	Si	0,10 – 0,35
4	P	0,025
5	S	0,025
6	Cr	0,20
7	Ni	0,25
8	Cu	0,25

### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan pipa baru diperoleh hasil yang ditunjukkan pada tabel sebagai berikut:

**Tabel 4.** Hasil pengujian kekerasan pipa baru (skala HRA)

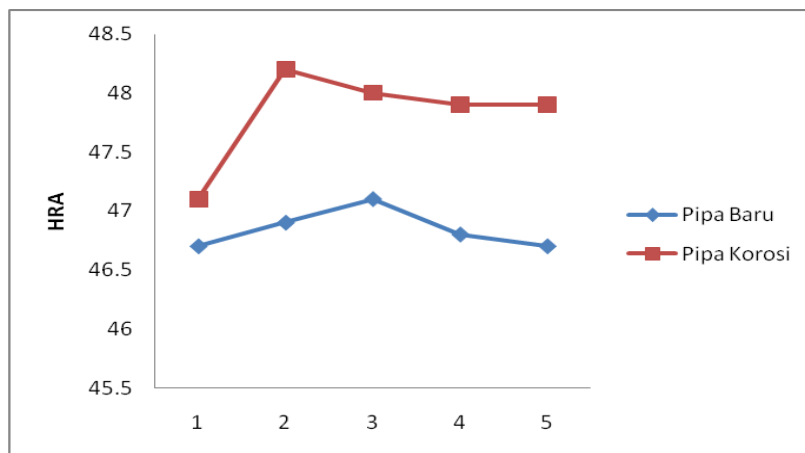
Titik Pengujian	Sampel Material Uji				
	1	2	3	4	5
1	46	47	46,5	46,5	46
2	47	48	48,5	47	47,5
3	46	46,5	46,5	47	47
4	48,5	47	47	46,5	46
5	46	46	47	47	47
Rata-rata	46,70	46,90	47,10	46,80	46,70

**Tabel 5.** Hasil pengujian kekerasan pipa korosi

Titik Pengujian	Sampel Material Uji				
	1	2	3	4	5
1	46	47,5	48,5	48,5	47,5
2	47,5	48	47,5	48	48
3	47	49	48,5	48,5	48,5
4	48	47,5	48,5	48,5	48,5
5	47	49	47	47	47
Rata-rata	47,10	48,20	48	47,90	47,90

Setelah diperoleh dari hasil pengujian kekerasan material pipa baru dan pipa korosi kemudian diolah menjadi grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8.

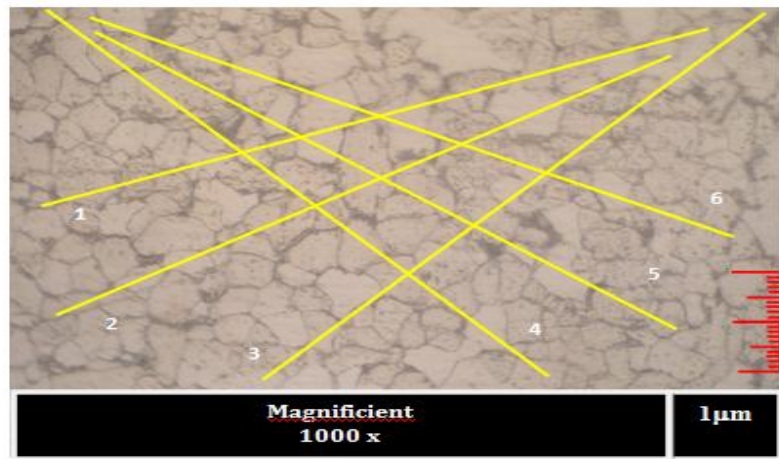
Pada grafik nilai kekerasan terjadi peningkatan kekerasan hal ini ditunjukkan bahwa nilai kekerasan pada pipa korosi lebih besar dibandingkan dengan pipa yang masih baru. Seiring penggunaan pipa untuk proses pendistribusian air minum di wilayah semarang sehingga lama kelamaan terbentuk kerak pada dinding permukaan pipa. Timbulnya kerak pada pipa dikarenakan oleh air yang mengalir di dalam pipa, dimana air mengandung berbagai macam padatan terlarut, gas terlarut dan pengotor lainnya yang semuanya dapat mempengaruhi korosi dari air yang kontak dengan logam.



**Gambar 8.** Grafik rata-rata nilai kekerasan pada pipa baru dan pipa korosi

### 3.3 Hasil Pengujian Mikrografi

Pengujian struktur mikro pipa baru dan pipa yang terkorosi dilakukan pada setiap sampel uji dengan menggunakan mikroskop optic dengan perbesaran 1000x, 1 strip sama dengan 10 mikron.



**Gambar 9.** Struktur mikro pipa baru perbesaran 1000x

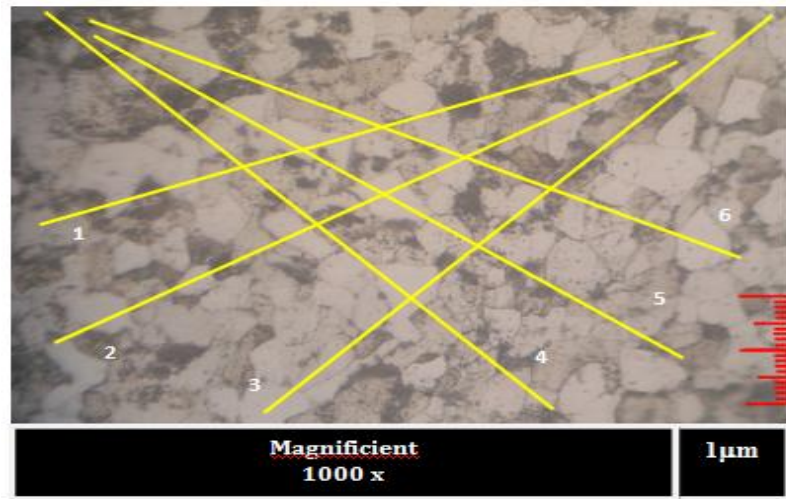
**Tabel 6.** Perhitungan *grain size* pada material pipa baru

Nomor garis	Jumlah <i>grain intersected</i>	Rata-rata <i>grain intersected</i>
1	10	8,92
2	9,5	
3	11	
4	8	
5	6	
6	9	

Perhitungan ukuran batas butir pada material pipa baru :

$$\begin{aligned}
 \text{Line length intersected rata-rata} &= \frac{110 \text{ mm}}{8,92 \text{ mm}} = 12,33 \text{ mm} \\
 \text{Diameter butir rata-rata} &= \frac{12,33}{1000} \\
 &= 12,33 \times 10^{-3} \text{ mm} = 12,33 \text{ } \mu\text{m}
 \end{aligned}$$





Gambar 10. Struktur mikro pipa korosi perbesaran 1000x

Tabel 7. Perhitungan *grain size* pada material pipa korosi

Nomor garis	Jumlah <i>grain intersected</i>	Rata-rata <i>grain intersected</i>
1	9,5	8,17
2	11	
3	9,5	
4	7	
5	5,5	
6	6,5	

Perhitungan ukuran batas butir pada material pipa baru :

$$\begin{aligned}
 \text{Line length intersected rata-rata} &= \frac{110 \text{ mm}}{8,17 \text{ mm}} = 13,46 \text{ mm} \\
 \text{Diameter butir rata-rata} &= \frac{13,46}{1000} \\
 &= 13,46 \times 10^{-3} \text{ mm} = 13,46 \text{ } \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

### 3.4 Hasil Pengujian Tarik

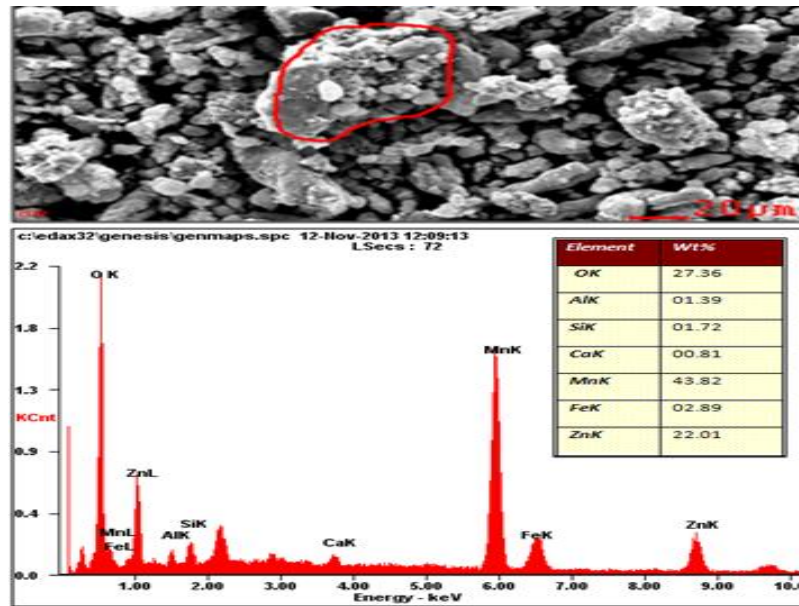
Tabel 8. Hasil pengujian tarik

NO	MATERIAL	Lo (mm)	Li (mm)	ΔL (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Fmax (KN)	σmax (MPa)	Regangan (%)
1	Pipa korosi Ø2"	85	89	4	56	13	232	4,706
2	Pipa baru Ø2"	85	90	5	70	20	286	5,882

Dari Tabel 8 diperoleh hasil pengujian tarik pada pipa yang terkorosi dan pipa yang belum terkorosi. Untuk pipa terkorosi mengalami regangan sebesar 4,706% dan mengalami patah pada saat Fmax 13 KN. Sedangkan pada pipa baru mengalami regangan sebesar 5,882 % dan mengalami patah pada saat Fmax 20 KN. Semakin tinggi kekuatannya maka semakin baik material tersebut menahan beban dari luar. Demikian pula keuletannya, semakin tinggi keuletannya maka semakin baik material tersebut untuk diubah bentuk (*deep drawing*) dan mampu menahan pembebanan sebelum retak maupun pecah.

### 3.5 Hasil pengujian SEM-EDX

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui karakteristik korosi yang terjadi dan struktur morfologi dari kerak pipa. Pengujian EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) untuk mengetahui komposisi unsure yang terbentuk pada kerak pipa.

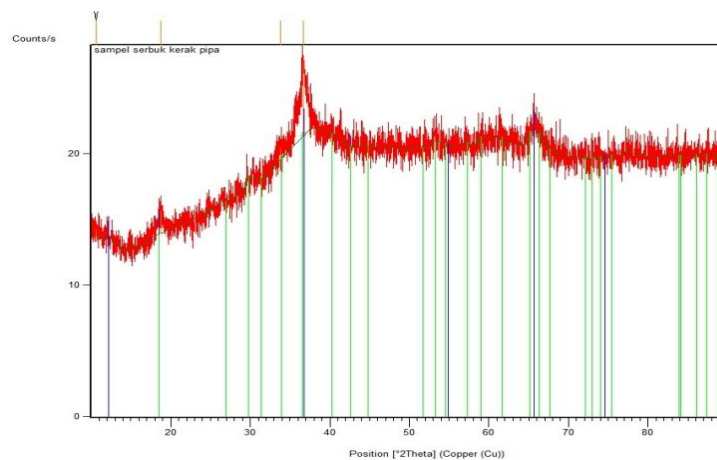


Gambar 11. Data hasil penembakan serbuk kerak pipa PDAM

Pada hasil pengujian EDX tidak ditemukan kandungan karbon, tetapi terdapat penambahan unsur seperti O sebesar 27,36% dan Zn sebesar 22,01%. Selain itu kandungan unsur Mn lebih tinggi sebesar 43,82% dibandingkan dengan kandungan unsure yang ada pada pipa baru.

### 3.6 Hasil Pengujian Kerak Pipa Terkorosi

Analisa struktur kristal pada serbuk kerak pipa yang terkorosi dilakukan dengan menggunakan alat X-Ray Diffractometer (XRD) yang bertujuan untuk mengamati fase-fase yang terbentuk pada sampel uji yang sudah terkorosi.



Gambar 12. Grafik Hasil XRD dari serbuk kerak pipa

Tabel 9. Peak List hasil XRD serbuk kerak pipa

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
10,5808	17,73	0,8029	8,36123	10,43	0,9635	
18,7176	51,65	0,5353	4,74084	30,38	0,6424	00-018-0802; 00-009-0459
33,7952	27,69	0,8029	2,65235	16,29	0,9635	00-009-0459
36,6530	170,00	0,3346	2,45184	100,00	0,4015	00-018-0802; 00-009-0459



**Tabel 10.** Identified Patterns List hasil xrd serbuk kerak pipa

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-018-0802	17	Birnessite, syn	-0,070	0,543	Mn O <sub>2</sub>
*	00-009-0459	5	Hydrohetaero lite	0,199	0,395	Zn <sub>2</sub> Mn <sub>4</sub> + <sub>3</sub> O <sub>8</sub> · H <sub>2</sub> O

Dari data hasil pengujian XRD memperlihatkan bahwa terdapat 2 fasa yaitu, fasa *birnessite syn* MnO<sub>2</sub> (*Manganese Oxide*) dan juga fasa *hydrohetaero lite* yaitu Zn<sub>2</sub>Mn<sub>4</sub> +<sub>3</sub>O<sub>8</sub>·H<sub>2</sub>O (*Zinc Manganese Oxide Hydrate*). Fasa MnO<sub>2</sub> diperkirakan sebanyak 30,38 % dan fasa minor Zn<sub>2</sub>Mn<sub>4</sub> +<sub>3</sub>O<sub>8</sub>·H<sub>2</sub>O sebanyak 16,29%. Hasil kedua fasa ini dapat memperlihatkan bahwa kadar Mn yang tinggi didalam air menyebabkan terbentuknya kerak pada dinding pipa.

### 3.7 Perhitungan Laju Korosi

Untuk perhitungan laju korosi ini waktu pipa terkorosi diasumsikan selama 1 tahun sehingga total waktunya adalah 8760 jam. Berikut ini spesifikasi dari material uji:

**Tabel 11.** Spesifikasi Pipa

No	Spesifikasi	Pipa Baru	Pipa Korosi
1	Berat Pipa	824,48 g	816,04 g
2	Tebal Pipa	3,42 mm	3,31 mm
3	Panjang Pipa	230 mm	230 mm
4	Diameter Luar	2"	2"
5	Diameter Dalam	43,96 mm	44,18 mm
6	Lama pipa korosi per tahun		8760 jam
7	Densitas	7,86 g/m <sup>3</sup>	7,86 g/m <sup>3</sup>

Perhitungan laju korosi pada pipa PDAM Semarang sebagai berikut :

$$\text{Waktu (T)} = 365 \text{ hari} = 8760 \text{ jam}$$

$$\text{Weight loss (W)}$$

$$W = W_a - W_o$$

$$= 824,48 \text{ gram} - 816,04 \text{ gram}$$

$$= 8,44 \text{ gram.}$$

$$\text{Densitas (D)} = 7,86 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Luas Penampang (A)} = (2 \pi r) \times (L)$$

$$= (2 \times 3,14 \times 2,54) \times (23)$$

$$= 15,95 + 23 = 38,95 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{CR (mpy)} &= \frac{534 W}{D A t} \\ &= \frac{534 \times 8,44}{7,86 \times 366,85 \times 8760} \\ &= 0,178 \text{ mpy} \end{aligned}$$

### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa pipa PDAM termasuk kedalam golongan baja karbon rendah (low carbon steel), dan jenis material pipa yang dipakai adalah "JIS G4051 Type S 09 CK". Hasil dari struktur mikrogafi pipa baru struktur ferrit lebih dominan dibandingkan struktur perlit dan sebaliknya pada pipa korosi struktur perlit lebih dominan dibandingkan dengan struktur ferrit. Sehingga nilai kekerasan pipa terkorosi lebih besar dibandingkan pipa baru karena perlit merupakan struktur yang paling keras dibandingkan dengan ferrit. Laju korosi pada pipa PDAM Semarang sebesar 0,178 mpy dengan kehilangan massa akibat korosi sebesar 8,44 gram. Pada grafik hasil pengujian XRD (*X-ray Diffraction*) terdapat dua fasa yaitu: fasa *birnessite syn* (MnO<sub>2</sub>) dan fasa *hydrohetaero lite* (Zn<sub>2</sub>Mn<sub>4</sub> +<sub>3</sub>O<sub>8</sub>·H<sub>2</sub>O). Kandungan Mn yang tinggi di dalam air menyebabkan terbentuknya kerak pada dinding pipa.

### 5. Daftar Pustaka

- [1] Anderson, B., 2001. "The 8 forms of corrosion", M.E.464.
- [2] Anonim, 1993. "ASM Handbook Volume 1: Properties and Selection : Irons, Steel and High Performance Alloys". ASM International.

- 
- [3] Callister, W. D., 1994. "*Material Science and Engineering*", eight edition Departement of Metallurgical Engineering, The University of Utah.
- [4] Kumala, R., 2011. "*Mengenal Korosi dan Akibatnya, Serta Cara Pencegahannya dalam Kehidupan Sehari-hari*". Jakarta
- [5] Priyotomo, G., 2008." *Kamus Suku Korosi Material (Free E-Book Edisi Mahasiswa, Vol 1, No 1)*". Jakarta.
- [6] Mars. G, Fontana, 1987. "*Corrosion Engineering 3<sup>rd</sup> Edition*". Mc Gra-Hill Book Company. Singapore.
- [7] Sieradzki, K., 2003. "*Stress Corrosion Cracking*", Arizona State University.
- [8] Sri, W., 2001. "*Karat dan Pencegahannya edisi ke-2*". PT Pradnya Paramita: Jakarta
- [9] Supardi, H. R., 1997. " *Korosi Edisi Pertama*". Penerbit Tarsito: Bandung.